全链条科技创新周期初探

——以中国科学院物理研究所碳化硅研究为例

文 亚* 王文军 朱春丽 强振宏
中国科学院物理研究所 北京 100190

摘要 全链条科技创新涉及科研机构、企业、政府乃至整个社会，目标是形成自主关键核心技术，乃至形成技术标准体系，推动产业的发展。全链条科技创新的能力及效率是衡量创新型社会生态的重要标准，创新周期是重要的表征标准之一。国立研究机构在特定学科领域内布局较全面，涉及基础研究、应用基础研究乃至工程化，是推动全链条科技创新的重要力量。全链条科技创新的后半段是创新成果本身与企业家一起在市场进行推广与估值的过程。为了进一步缩短周期，需要鼓励部分科学家与企业家的合作，并加速各类创新要素在市场上的流动与统筹。文章以国立研究机构的具体案例为视角开展研究探索，以期从整合创新资源、提高创新效率这一角度对全链条科技创新周期有新的认识。

关键词 全链条科技创新，诺贝尔奖，创新周期，碳化硅，案例研究

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.20200407003

科学技术是第一生产力。回顾历史，每一次工业革命都是由先发的科学革命带来知识结构革新而促发的，最终实现标志性技术的广泛应用，如蒸汽机、电动机、计算机等。每一次促发过程都由一系列重大关键核心技术的应用实现构建起来。例如，信息技术革命的发展就是由三极管、巨磁阻（GMR）效应、光纤、液晶等全链条科技创新的实现和不断迭代构建起来的。全链条科技创新涉及科研机构、企业、政府乃至整个社会，目标是要形成自主关键核心技术，乃至形成技术标准体系[1]。全链条科技创新的能力及效率是衡量创新型社会生态的重要标准，周期越短意味着整合创新资源的能力越强、效率越高。很多经济学家深入地研究过科学技术创新和企业家创新对经济增长的贡献及周期问题，如康德拉季耶夫和熊彼特等。其中，尤其熊彼特的增长理论高度强调创新，逐渐得到更多政治家和社会公众的认可[2]。

为早日实现更多的“中国创造”，整合创新资源、营造创新生态并提高效率尤为重要。从趋势来看，全链条科技创新的前半段主要是基础研究（绝大多数还是分散在科研院所和大学等机构），目标清晰

* 通讯作者
修改稿收到日期：2020年4月30日；预出版日期：2020年5月15日

之后转移到以企业为主的开发载体上去。当前，由于我国各创新主体技术实力尚在提高，国家核心技术创新攻坚体系的效力和活力仍显不足，高端科技供给能力尚未有效形成[3]。在我国，由于国立研究机构定位相对聚焦——以学科与任务挂帅相结合，研究范围覆盖从自由探索的基础研究到方向相对清晰的应用基础研究，以及后期的工程技术探索的整个过程；同时，鼓励大团队研究和大科学模式工作，在关键重大科学问题及核心技术突破方面承担着重大的国家使命。

目前，国内外学界从产业化实务的角度对创新效率开展了一些研究。但由于机制差异，国外站在产学研协同的角度探讨问题的文献不多。国内情况则不太一样，2006 年以来，国内以“产学研”和“产学研合作”为主题的文献迅速增加；2012 年开始，随着协同创新的概念流行，文献数量陡增。总的来说，相关研究较多地是通过网络数据包络（DEA）方法构建产学研过程涉及要素的评价模型并开展研究，但尚缺乏实证研究，也很难建立理论体系[4]。跳出产业化过程的具体评估，从知识积累及产业形成的角度来探讨的文章比较少。本文以国立研究机构的具体案例为视角开展研究探索，以期从整合创新资源、提高创新效率这一角度围绕全链条科技创新周期有新的认识。

1　代表性全链条创新研究的周期举例

考虑到新时期科学技术发展的范式变化，2000 年以后案例对科技创新周期研究更具参照意义。此外，考虑到诺贝尔奖的时代性，颁奖时间一般也充分考虑了所涉及成果的重大经济效益和社会效益，我们把诺贝尔奖颁奖时间作为全链条科技创新获得验证的时间节点。2000 年后，巨磁阻效应、光纤通信、蓝光半导体和锂离子电池研究分别被授予了诺贝尔奖，这几项涉及关键核心技术的代表性成果，都经历了从科学发现到技术应用的全链条科技创新周期，产生了巨大的经济效益和社会效益（表 1）。

表 1　代表性全链条创新研究周期分析简表

科学发现	被授予诺贝尔奖的时间和奖项	原创概念及发现时间	代表性产业应用开始时间	原创思想发现到被授予诺贝尔奖经历的时间
巨磁阻效应	2007 年，物理学奖	1988 年，法国巴黎南大学阿尔贝 · 费尔（A. Fert）和德国尤利希研究中心彼得·格伦贝格尔（P. Grünberg）各自独立发现非常弱小的磁性变化导致磁性材料发生非常显著的电阻变化的现象[5]	1997 年，美国IBM公司首次采用巨磁阻效应的硬盘开始推向市场	19 年
光纤通信	2009 年，物理学奖	1966 年，高锟（英国标准电话与电缆有限公司）在《光频介质纤维表面波导》中指出光的传输损耗主要来源于材料中的杂质；他具体计算了光在高纯度光纤中的传输距离，指出完全可能达到 100 km以上[6]	1971 年，美国康宁玻璃工厂率先使用化学工艺制成了 1 km 长的熔融石英光纤	43 年
蓝光二极管	2014 年，物理学奖	1989 年，日本名古屋大学赤崎勇（Isamu Akasaki）、天野浩（Hiroshi Amano）第一次通过低能电子辐照获得了GaN p-n 同质结 LED[7] 1992 年，日本日亚公司中村修二等发展了量子阱结构并将其推向了实用化	1993 年，日本日亚公司推出了世界上第一只商用 GaN 基蓝光 LED，后续制备出世界上第一只 GaN 基白光 LED	25 年
锂离子电池	2019 年，化学奖	1976 年，美国纽约州立大学宾汉姆分校威廷汉（M. Stanley Whittingham）指出将插层反应概念应用到锂电池中，提出了商用锂电池的概念 1980 年，英国牛津大学古德纳夫（John B. Goodenough）指出含锂氧化物可以为负极输送锂，可以不需要金属锂负极提供锂离子 1985 年，日本旭化成株式会社吉野彰（Akira Yoshino）用钴酸锂为正极、聚乙炔为负极发明了锂离子电池的原型	1991 年，日本索尼公司开始商业化生产锂离子电池[8]	43 年

从巨磁阻效应、光纤通信、蓝光半导体和锂离子电池这4项革命性成果的发展历程来看，从原创思想出现到最终实现产业应用并被授奖都经历了很长的周期：最短的19年，最长的43年，平均超过30年。在这个过程中，美国IBM、美国康宁、日本日亚、美国CREE、日本索尼和中国宁德时代等一大批相关企业都在全链条科技创新的后半段发挥了重要作用。全链条科技创新的后半段已经延伸到经济领域，主要由企业家主导，以市场渗透、推广为标准，受所属产业发展态势影响非常大。例如，磁存储行业就是典型的快迭代的例子，因此巨磁阻效应的应用周期就相对短。按熊彼特对康德拉季耶夫周期的划分，1787—1939年资本主义的几个关键时期“棉纺织业、钢铁和蒸汽机”“铁路化”和“电力、汽车”，大概的周期都是50年[9]。当然，熊彼特周期的定义对象和范畴要比关键核心技术应用宏观和宽泛得多。在不同的时代背景下，技术革新的速度与规模都有差异，康德拉季耶夫周期也会叠加不同的社会和时代背景，而产生适当的修正[10]。与此类似的是，从20世纪后半期开始，科学与技术融合加快，信息技术的广泛应用极大地提高了科研、工业与商业发展的效率。随着市场对于科技创新资源整合效率的提升，这个周期出现明显缩短的趋势。

2 科研人员创新能力生命周期与黄金周期分析

对上文中提到的4项诺贝尔奖9位获得者的研究历程做分析可知：他们完成大学通识教育（本科）的年龄区间在22—24岁，一半以上的人本科毕业后立即接受研究生教育，博士毕业的年龄区间为27—35岁，获得正高级专业技术职称的年龄区间为33—46岁（公司没有明确的职称定级，因此采纳担任技术部部长岗位的时间为相对标准）；从本科教育结束到发表原创性文献或技术的平均时间为21.3年。从学科年谱或者学科历史的角度进行追溯的创新周期往往都是百年甚至更长的时间。因此，本文选择对原创性工作作出最突出贡献的人的初始研究时间作为计算全链条科技创新的前半段周期的起点。

*（1）科研人员成长历程。*对我国科研人员而言，一般要经历大学通识教育（本科）、研究生教育，然后入职科研机构或高校开始专门研究工作，并逐步获得讲师/助理研究员、副教授/副研究员、教授/研究员等职称的过程。参照1966年，Karman首先提出的生命周期理论（life-cycle approach），科研人员的创新能力要经历“初创—发展—成熟—衰退”4个阶段[11]，其中黄金周期包括了发展期和成熟期2个阶段，主要是成熟期。*① 发展期。*这个阶段从博士后开始直到取得固定科研位置的时候终止。处于发展期的科研人员，有稳定的科研产出表现，并开始获得科研资助，科研事业处于上升阶段，逐步向独立开展科研工作过渡。*② 成熟期。*处于成熟期的科研人员，一般已取得正高级技术职称，大多产出了较突出的科研成果；很多国外的机构，是从“Tenure”（获得长期教学职位）之后计算起，也就是类似于获得固定教授岗位开始。以岗位晋升的时间节点来标识科研人员的科研能力变化存在一定偏差，但是便于统计和相对客观。例如，研究员或者“Tenure”岗位的确定，一般都需要通过小同行的评议并获得机构相关委员会的认可。

*（2）科研人员从入门到获得正高级专业技术职称一般需要16年时间。*关于完成本科教育的时间，相关研究选取2001—2013年增选的333位中国科学院院士为样本进行了分析，这333位院士出生在1925—1970年，跨度为46年。其中，1959年之前出生的人数为247人，占74.2%。331位（占99.4%）有效院士本科毕业年龄分布在18—34岁，平均为23.15岁[12]。这部分研究人员，受当时国内环境如“文革”等影响，接受大学教育的时间相对滞后。改革开放以来，随着我国教育制度设计的规范与完善，尤其是近20年来大学

通识教育（本科）的高质量发展，社会普遍认可在我国一般完成大学通识教育（本科）的年龄为22岁。关于获得正高级专业技术职称的年龄，据有关研究，通过抽样调查方法对近5年来申请科学基金的12 815位科研人员的成长周期进行了调查，结果显示：科研人员获得讲师/助理研究员的平均年龄为29.6岁，发表第1篇SCI论文时的年龄平均为31.2岁，获得博士学位的年龄平均为31.5岁，获得副教授/副研究员的年龄平均为33.9岁，获得教授/研究员的平均年龄为38.4岁[13]。从结束本科学习转入研究生教育到获得正高级专业技术（包括专门研究岗与教职）职称，在我国一般需要16年以上的时间。

（3）科研人员从入门到获得突破性成果一般需要22年时间。根据美国科学信息研究所（ISI）开发的高被引科学家数据库①，物理学科的全球高被引科学家共312位。通过对这些高被引科学家的分析发现，物理学科高被引科学家通常在首次发表论文后的第15年学术影响力达到巅峰[14]。通过对自然科学领域1901—2011年550位诺贝尔奖获得者生平及获奖数据的详细统计，得到了110年来自然科学领域诺贝尔奖获得者的获奖年龄、最高学位获得年龄和做出获奖成果年龄的详细变化；其中，做出获奖成果的年龄在44—47岁[15]。在国内，李和风[16]以中国科学院院士为对象研究了科研活动周期。该研究结果表明，这些杰出人才平均26岁首次发表SCI、EI论文，27岁博士毕业，31岁首次独立申请并获得研究资助，科学研究活跃期持续至35岁；36—40岁取得突出研究成果，索引论文发表量逐渐达到高峰；41—45岁以出色的研究工作与成果被同行承认，成为科研的中坚力量。从以上分析可以看出，平均国内外的情况，顶尖科学家自本科毕业到取得突出性成果、成为科研中坚力量约需要22年时间。

从我国科研人员成长的统计数据来看，科研人员从入门到获得正高级专业技术职称需要16年以上的时间，成为科研中坚力量需要的周期大概是22年左右。从全链条科技创新的角度来看，穿越“全链条”往往都是接力赛，考虑到导师—研究生、项目首席科学家（PI）—博士后的关系，以及PI之间互补合作等团队关系，不同的情况周期会出现略有差异的延长。例如，赤崎勇1972年已确定了研究方向，1983年和天野浩一起发展了“两步法”，1989年首次获得GaN p-n同质结LED，这中间经过了17年。需要指出的是，把赤崎勇从事相关研究的开始时间作为全链条创新周期前半段起点而得到的创新周期，是从学科年谱角度得到的创新周期的最小值。

3 中国科学院物理研究所碳化硅晶体基础研究的长周期分析

碳化硅（SiC）属于满足国家战略需求并符合国民经济建设发展所需要的关键材料。SiC的研究链条很长，涉及基础科学和工程技术领域的问题，属于典型的全链条科技创新类研究。1955年，荷兰飞利浦实验室的研究人员LELY提出生长高质量SiC的方法，SiC材料成为重要的电子材料。1978年，“LELY改进技术”，即采用籽晶生长的方法被首次提出[17]。国际上第三代半导体的研究在20世纪90年代取得一些重要进展，SiC是其中一种重要的材料。

3.1 中国科学院物理研究所的碳化硅研究布局

中国科学院物理研究所（以下简称“物理所”）的晶体学科可以追溯到1932年。当时，国立北平研究院与中法大学合作设立镭学研究所，该所主要从事水晶的研究。1950年，陆学善被任命为中国科学院应用物理研究所（现“物理所”）副所长，并由他组建和主持结晶学研究组；留苏归来的梁敬魁作为陆学善的

① 该数据库提供了化学、数学、物理学、材料科学、计算机科学等21个领域的各领域被引用次数居全球前列的科学家，网址为：http://www.isihighlycited.com。

助手承接了该组的具体工作。1969年，李荫远等加入开展人工晶体生长及与之相关的晶体物理理论研究。

1997年，物理所正式布局SiC晶体研究，由陈小龙研究员牵头。当时相关文献不多，技术细节更是一无所知，但依据晶体学和相图方面的基础，陈小龙率领晶体生长课题组从以激光晶体为主转向以SiC晶体生长为主的研究工作。当时，很多先进技术都被发达国家垄断，对我国实行严格的技术保密和封锁，甚至产品禁运，而SiC晶体也在其列。1999年，陈小龙任晶体生长研究组组长，对SiC晶体生长进行了大量系统的研究。作为目前世界最大的SiC材料和器件供应商，美国CREE公司从20世纪80年代初就开展了SiC材料的研究。相比而言，物理所开始SiC晶体研究的时间晚了10余年，但在国内而言还是属于较早的。

目前，物理所在SiC晶体领域的研究成果已获授权中国发明专利21项、PCT（专利合作条约）国际专利6项，参与起草SiC晶体相关国家标准并已实施3项，在国际学术刊物上发表论文30余篇。

3.2 陈小龙成长周期的具体实例

1985年，陈小龙在哈尔滨工业大学开始接受材料科学研究生教育。1988年，考入物理所攻读博士学位，师从梁敬魁，从此开展铜基超导体的相关系、晶体结构和物性研究，并于1991年博士毕业。此时，相距李荫远在物理所开始人工晶体研究已经22年。毕业后，陈小龙留所作为梁敬魁的助手，继续从事晶体学相关研究。1995年陈小龙作为洪堡学者到德国海德堡大学和拜罗伊特大学从事博士后研究，其研究方向为晶体结构分析和新材料探索。

1999年，陈小龙担任物理所晶体生长课题组组长，带领研究组突破了关键的扩晶技术，成功生长出了高质量的2英寸4H和6H晶型的SiC单晶。通过团队长周期的基础研究，最终攻克了SiC单晶生长中的种种难题。此外，研究团队在SiC材料新效应、新物性方面也开展了大量基础研究，包括SiC中的掺杂和缺陷在诱导本征磁性起源中的作用、通过缺陷工程调控半导体磁性、4H SiC晶体的非线性光学效应、利用SiC制备大面积高质量的石墨烯及SiC/石墨烯复合材料，并将SiC的应用扩展到了光催化领域。

从陈小龙开始接受研究训练，并在物理所接触晶体学研究，到对SiC单晶生长进行了较系统的研究并设立企业，经过了21年。

4 中国科学院物理研究所碳化硅晶体应用与产业化的长周期分析

为实现SiC晶体的产业化，2006年9月物理所以SiC晶体生长相关专利技术出资成立了北京天科合达蓝光半导体有限公司（以下简称“天科合达公司”），在国内率先开始SiC晶体产业化工作。2012年，公司开始量产4英寸SiC晶体，2018年开始量产6英寸SiC晶体。在这个过程中，物理所与天科合达公司之间形成了闭环的全链条研发小生态，双方共同承担各类科技项目10项，研发经费达到了约2.1亿元人民币。这种小生态不仅有利于产学研合作研发和解决技术难题，而且可以弥补初创企业研发投入能力的不足。

SiC晶体产业化是一个漫长的过程，其中如何提高成品率、优品率及达到即开即用是面临的至关重要的攻关难题。天科合达公司在生产中碰到的技术和工艺问题时，同步反馈到物理所。物理所相关研究团队投入力量从基础研究角度对出现的问题根源进行深入分析和实验，提出可能的解决方案再应用于生产，从而形成研发和生产良好的反馈互动。成品率、优品率问题的提出完全源自企业研发的视角，此时整个SiC全链条研发小生态的重点已经从实验室追求新奇的科学视角转移到满足市场需求的视角。天科合达公司现任常务副总经理和技术总监，是陈小龙研究组的毕业生，具有企业家精神的研究生的培养和输出，

对于全链条科技创新模式的实现非常重要。

2006—2016年，物理所团队坚持基础研究，又先后在SiC晶体生长相关方面取得了24项专利。2019年底上述专利全部转让至天科合达公司，为其后续发展注入了新的动力。在SiC全链条科技创新中，新技术在研究所与企业共同构建的小生态内不断地闭环迭代。

截至2020年1月31日，我国科创板申报企业累计209家，其中92家获得审核通过，平均上市周期为13.68年。这92家科创板企业中，上市周期（公司注册到上市的时间）20年以上的达6家，占7%；15—20年的23家，占25%；10—15年的36家，占39%；5—10年的27家，占29%。天科合达公司从2006年设立到2017年公司实现首次盈利经历了11年时间。2019年底，天科合达公司成为国内和亚洲地区最大的SiC供应商之一。比较而言，等到企业再成熟，这个周期将是一个接近平均周期13.68年的结果。当然与巨磁阻效应、光纤通信、蓝光半导体和锂离子电池等相比，整个SiC行业的应用广度和深度还有很大差距，相比19—43年的周期也较短。但是，按全链条科技创新的模式统计，SiC研究的周期已达到了35年。

5 国际案例对比及对我国碳化硅全链条科技创新的展望

国际上SiC半导体的研发和产业主要集中在美国、日本和欧洲。其中，美国CREE公司SiC材料和器件的产量占全球市场的55%以上，是该行业全球的领头羊。1987年，2位美国北卡罗来纳州立大学教授、3名研究生在学校附近创立了CREE公司，公司1993年在美国纳斯达克上市。该公司注重与北卡罗来纳州立大学及美国的其他高校合作进行研发，加快产业化进程及开拓新的应用领域。目前，该公司的三大主营板块包括SiC单晶生长、LED和SiC功率电子器件，2018年收入为96.6亿美元。此外，其他公司在SiC相关领域的投资也在逐步增大，包括美国II-VI公司、美国Dow Corning公司、日本Nippon Steel公司和德国SiCrystal公司等。国际著名半导体咨询公司Yole预测，到2025年，SiC功率器件全球市场规模将超过220亿元人民币，到2030年全球SiC功率器件市场规模将超过1 000亿元人民币。国内SiC器件的市场约占国际市场的40%—50%。未来的发展趋势是晶体和外延将合并，并有可能延伸到器件。

对于国内的产业发展而言，除了研发更大尺寸的衬底之外，以衬底为基础走向多元化，也需要更多的基础研究的支持。例如，SiC功率器件将逐步走向更高电压和更高功率的应用，以发挥其性能优势，而这就要求晶体及外延中的缺陷越来越少，尤其是位错。这些缺陷的解决都需要长期和系统的深入研究，一般而言，这些问题单独依靠企业很难完成。国立研究机构的特点是基础研究力量雄厚，承担高风险研发的能力强，可以从更深层次去研究这些缺陷形成的机理和解决途径，并能及时将研究成果应用于产业。因此，在SiC全链条科技创新中，国立研究机构仍需继续发挥重要的作用。

6 国立研究机构参与全链条科技创新的启示

综上所述，无论科技创新和推广创新采取怎样的范式进步，最终都会体现在全链条科技创新的效率上。效率越高，周期越短。从教育周期以及案例统计来看，全链条前半段的周期一般至少需要20年以上的时间，全链条后半段的开始时间，取决于做出关键突破的研究成果的出现时间；而从全链条后半段周期的统计来看，需要19—43年的时间，平均30年左右。因此，全链条科技创新周期总的时间大概需要50年左右。如果能够充分调动科学家和企业家这两类创新主体发挥主观能动性，实现无缝融合，就能有效缩短周期。

（1）全链条科技创新的过程很长，要完成从科学研究到市场推广的全过程，需要适应从科研文化向市场标准的转变。全链条科技创新是双长周期，其基础

研究与市场化的结合都很难一蹴而就，需要“数十年磨一剑”的积累。虽然所指范畴存在差异，但从统计尺度上看，全链条科技创新周期与康德拉季耶夫的经济周期在时间上相当。不过，随着“大数据”“人工智能”等新技术的发展，全链条科技创新的周期可能会进一步缩短。由于全球科技创新渐呈多中心化，全链条科技创新将超越国界，进一步依赖全球创新资源的整合。因此，科学家自由交流、企业知识产权自由交易尤为重要，政治因素也会对创新效率和周期产生影响。

（2）就现阶段而言，由于全链条科技创新壁垒高、风险大、周期长，尤其涉及前期的基础研究和应用基础研究，国立研究机构需继续发挥重要作用。国立研究机构在聚焦自身学科方向的前提下，建议内部研究布局尽量齐全，充分实现各个“子学科”与“小领域”的交叉。学科代表基础研究，领域代表应用目标，矩阵式的布局能够促进二者融合。考虑到全链条科技创新起点的不确定性，国立研究机构要坚持高质量的基础研究——只有“上半篇文章”做好了，才有穿越全链条科技创新周期的可能性。对市场而言，我们要实现基础研究和应用基础研究的供给侧改革，提供高质量的基础研究和高质量的成果供给。

（3）对于国立研究机构中已经有明显应用导向的研究单元，需要更积极地适应市场生态，这些研究单元内的研究生教育要强调企业家精神的培养。按照熊彼特的创新理论，具备企业家精神的优秀创新者是最稀缺的资源。原则上讲，全链条科技创新的后半段就是创新成果本身与企业家一起在市场进行估值的过程。为了进一步缩短全链条科技创新的周期，需要进一步加强国立研究机构与企业的互动，鼓励科学家与企业家的合作，加速各类创新要素在市场上的流动。

致谢 感谢中国科学院物理研究所陈小龙在此文撰写过程中给予的指导和帮助！

参考文献

1 巨磁阻效应. [2020-1-2]/ [2020-1-2]. https://baike.baidu.com/item/%E5%B7%A8%E7%A3%81%E9%98%BB%E6%95%88%E5%BA%94/10858889.

2 陈益新. 光纤：通往光信息时代的彩虹——赞华裔科学家高锟荣获2009年诺贝尔物理学奖. 现代物理知识, 2009, 21(6): 3-7.

3 张国义. 2014年诺贝尔物理学奖，一石激起千层浪. 科学通报, 2014, 59(34): 3337-3339.

4 陈立泉. 锂离子电池改变世界——2019年诺贝尔化学奖成果简析. 科技导报, 2019, 37(24): 36-40.

5 胡卫. 以全链条创新推进自主创新. 创新科技, 2010, (10): 26-27.

6 柳卸林, 高雨辰, 丁雪辰. 寻找创新驱动发展的新理论思维——基于新熊彼特增长理论的思考. 管理世界, 2017, (12): 8-20.

7 陈凤, 余江, 甘泉, 等. 国立科研机构如何牵引核心技术攻坚体系：国际经验与启示. 中国科学院院刊, 2019, 34(8): 920-925.

8 姜彤彤. 产学研协同创新效率评价研究综述. 中国管理信息化, 2019, 22(15): 216-219.

9 张林, 陈赤卫. 演化经济周期理论的源头：熊彼特和米切尔的经济周期理论对比. 社会科学辑刊, 2014, (6): 120-126.

10 篠原三代平. 康德拉季耶夫波与世界经济. 国际经济评论, 1983: 10-16.

11 赵越, 肖仙桃. 基于生命周期理论的科研人员学术生涯特征及影响因素分析. 知识管理论坛, 2017, (2): 136-144.

12 樊向伟, 肖仙桃. 中国科学院院士的年龄及学历结构研究. 情报杂志, 2015, 34(11): 36-39.

13 周建中, 闫昊, 孙粒, 等. 我国科研人员职业生涯成长轨迹与影响因素研究. 科研管理, 2019, (10): 126-141.

14 缪亚军, 戚巍, 钟琪. 科学家学术年龄特征研究——基于学术生产力与影响力的二维视角. 科学学研究, 2013, 31(2): 177-183.

15 门伟莉, 张志强. 科研创造峰值年龄变化规律研究——以自然科学领域诺奖得主为例. 科学学研究, 2013, 31(8): 1152-1159.
16 李和风. 年龄结构分析对科技人才工作的管理学意义. 中国科学院院刊, 2007, 22(4): 292-296.
17 碳化硅为什么是第三代半导体最重要的材料? [2019/11/18]/ [2020/3/12]. https://www.chemicalbook.com/NewsInfo_11924.htm.

Case Study of SiC Research of Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences: On Whole-chain Science and Technology Innovation Cycle

WEN Ya* WANG Wenjun ZHU Chunli QIANG Zhenhong
(Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract The whole-chain science and technology innovation involve scientific research institutions, enterprises, governments, and even the whole society. The goal is to produce independent innovations in key and core technologies and to establish systems for technological standards, so as to promote industrial development. The ability and efficiency of the whole-chain science and technology innovation is an important criterion in measuring an innovative social ecology, with the innovation cycle being one of the important criteria for characterization. It shall be an important driving force for the whole-chain science and technology innovation if national research organizations can have a comprehensive layout in a specific field, covering basic research, applied basic research and even engineering. The second half of the whole-chain science and technology innovation is a process in which "innovative achievements" and "entrepreneurs" are jointly engaged in market promotions and evaluations. In order to further shorten the cycle, collaborations of certain scientists and entrepreneurs should be encouraged, the flow and coordination of various innovative resources in the market should be accelerated.

Keywords whole-chain science and technology innovation, Nobel prize, innovation cycle, SiC, case study



文 亚 中国科学院物理研究所党委书记、副所长，研究员；广东省松山湖材料实验室副理事长；西安市政府科技顾问；国家重大科技基础设施"综合极端条件实验装置"常务副总经理。曾主持科学技术部、国家自然科学基金委、中国科协等管理与政策研究项目9项，参与《国家中长期科技规划纲要》相关评估、国家科研基地战略规划、国家重大科技基础设施开放共享研究、国家自然科学基金发展战略研究等工作。E-mail: ywen@iphy.ac.cn

WEN Ya Professor, Deputy Director of the Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences (CAS), Vice Chairman of the board of directors of Songshan Lake Materials Lab of Guangdong, Science and Technology Consultant of City Government of Xi'an. Deputy General Manager of Synergetic Extreme Condition User Facility. Manager of 9 research projects sponsored by Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China (MOST), National Natural Science Foundation of China (NSFC), and China Association for Science and Technology (CAST), participated in some polices drafting and program planning of the government. E-mail: ywen@iphy.ac.cn

■责任编辑：文彦杰

* Corresponding author

参考文献（双语版）

1 巨磁阻效应. [2020-01-02]/ [2020-01-02]. https://baike.baidu.com/item/%E5%B7%A8%E7%A3%81%E9%98%BB%E6%95%88%E5%BA%94/10858889.

Giant magnetoresistance effect. [2020-01-02]/ [2020-01-02]. https://baike.baidu.com/item/%E5%B7%A8%E7%A3%81%E9%98%BB%E6%95%88%E5%BA%94/10858889. (in Chinese)

2 陈益新. 光纤：通往光信息时代的彩虹——赞华裔科学家高锟荣获2009年诺贝尔物理学奖. 现代物理知识, 2009, 21(6): 3-7.

Chen Y X. Optical fiber as a rainbow leading to the optical information age: For Charles Kuen Kao awarded the 2009 Nobel Prize in physics. Modern Physics, 2009, 21(6): 3-7. (in Chinese)

3 张国义. 2014年诺贝尔物理学奖，一石激起千层浪. 科学通报, 2014, 59(34): 3337-3339.

Zhang G Y. The 2014 Nobel Prize in physics arouses strong responses. Chinese Science Bulletin, 2014, 59(34): 3337-3339. (in Chinese)

4 陈立泉. 锂离子电池改变世界——2019年诺贝尔化学奖成果简析. 科技导报, 2019, 37(24): 36-40.

Chen L Q. Lithium-ion battery can change the world: A brief analysis of the achievements of the 2019 Nobel Prize in Chemistry. Science & Technology Review, 2019, 37(24): 36-40. (in Chinese)

5 胡卫. 以全链条创新推进自主创新. 创新科技, 2010, (10): 24-25.

Hu W. Promote independent innovation with whole chain innovation. Innovation Science and Technology, 2010, (10): 24-25. (in Chinese)

6 柳卸林, 高雨辰, 丁雪辰. 寻找创新驱动发展的新理论思维——基于新熊彼特增长理论的思考. 管理世界, 2017, (12): 8-19.

Liu X L, Gao Y C, Ding X C. New theoretical thinking of innovation-driven development: Based on neo-Schumpeterian growth theory. Management world, 2017, (12): 8-19. (in Chinese)

7 陈凤, 余江, 甘泉, 等. 国立科研机构如何牵引核心技术攻坚体系： 国际经验与启示. 中国科学院院刊, 2019, 34(8): 920-925.

Chen F, Yu J, Gan Q, et al. How national research institutes pilot system for core technology breakthrough: International experience and implications. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2019, 34(8): 920-925. (in Chinese)

8 姜彤彤. 产学研协同创新效率评价研究综述. 中国管理信息化, 2019, 22(15): 216-219.

Jiang T T. Evaluation of innovation efficiency of industry-university-research collaboration: A review. China Management Informationization, 2019, 22(15): 216-219. (in Chinese)

9 张林, 陈赤卫. 演化经济周期理论的源头：熊彼特和米切尔的经济周期理论对比. 社会科学辑刊, 2014, (6): 120-126.

Zhang L, Chen C W. Source of evolutionary business cycle theory: Comparison between Schumpeter's and Mitchell's business cycle theories. Social Science Journal, 2014, (6): 120-126. (in Chinese)

10 篠原三代平. 康德拉季耶夫波与世界经济. 国际经济评论, 1983: 10-16.

Kaihara M. Kondratieff Wave and world economy. Translated by Hu T M. International Economic Review, 1983: 10-16. (in Chinese)

11 赵越, 肖仙桃. 基于生命周期理论的科研人员学术生涯特征及影响因素分析. 知识管理论坛, 2017, 2(2): 136-144.

Zhao Y, Xiao X T. Analysis on the academic appearance of researchers' career based on the life cycle approach.

Knowledge Management Forum, 2017, 2(2): 136-144. (in Chinese)

12 樊向伟, 肖仙桃. 中国科学院院士的年龄及学历结构研究. 情报杂志, 2015, 34(11): 36-39.

Fan X W, Xiao X T. Study of age and degree structure of academicians of Chinese Academy of Sciences. Journal of Intelligence, 2015, 34(11): 36-39. (in Chinese)

13 周建中, 闫昊, 孙粒. 我国科研人员职业生涯成长轨迹与影响因素研究. 科研管理, 2019, (10): 126-141.

Zhou J Z, Yan H, Sun L. A study of career development path and the influencing factors of researchers in China. Science Research Management, 2019, 40(10): 126-141. (in Chinese)

14 缪亚军, 戚巍, 钟琪. 科学家学术年龄特征研究——基于学术生产力与影响力的二维视角. 科学学研究, 2013, 31(2): 177-183.

Miao Y J, Qi W, Zhong Q. Study on the academic age characteristics of scientists: Based on the two dimensional of academic productivity and academic influence. Studies in Science of Science, 2013, 31(2): 177-183. (in Chinese)

15 门伟莉, 张志强. 科研创造峰值年龄变化规律研究——以自然科学领域诺奖得主为例. 科学学研究, 2013, 31(8): 1152-1159.

Men W L, Zhang Z Q. On the trend of most creativity age for Nobel winners in natural science. Studies in Science of Science, 2013, 31(8): 1152-1159. (in Chinese)

16 李和风. 年龄结构分析对科技人才工作的管理学意义. 中国科学院院刊, 2007, 22(4): 292-296.

Li H F. The significance in management of S&T talents affairs by analyzing the age structure. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2007, 22(4): 292-296. (in Chinese)

17 碳化硅为什么是第三代半导体最重要的材料？. [2019-11-18]/[2020-03-12]. https://www.chemicalbook.com/NewsInfo_11924.htm.

Why is silicon carbide the most important material of the third-generation semiconductor?. [2019-11-18]/[2020-03-12]. https://www.chemicalbook.com/NewsInfo_11924.htm. (in Chinese)